

猕猴桃的模拟振动实验及特性研究

王妮睿, 尤飞, 江智
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 研究猕猴桃在运输过程中振动特性以及机械损伤的影响因素, 为增强水果运输包装的防护性提供可靠的理论依据。**方法** 通过扫频振动实验检测猕猴桃的共振频率; 基于正交实验分析法进行猕猴桃的定频振动实验, 分析振动加速度、包装缓冲材料、振动时间和堆码层数等因素对表面损伤指数和振动传递率的影响, 从而获得造成猕猴桃机械损伤的敏感因子。**结果** 当振动加速度为 $0.15g$ 时, 猕猴桃的共振频率为 85.2 Hz ; 采用纸屑作为缓冲材料的整体包装, 猕猴桃的受损程度最小, 其振动传递率也较小。**结论** 对表面损伤指数和振动传递率影响最大的因子均为缓冲包装结构, 纸屑衬垫和 EPS 衬垫的缓冲性能优于 PET 衬垫。振动传递率越大, 表面损伤指数越大。

关键词: 猕猴桃; 扫频振动; 定频振动; 表面损伤指数; 振动传递率

中图分类号: TB485.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)05-0172-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.05.024

Simulated Vibration Experiment and Features of Kiwifruit

WANG Ni-rui, YOU Fei, JIANG Zhi

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: This work aims to study the vibration characteristics and mechanical damage factors of Kiwifruit during transportation, and provide a reliable theoretical basis for enhancing the protection of fruit transportation packaging. The resonance frequency of kiwifruit was detected by sweeping frequency vibration experiment; the fixed frequency vibration experiment of kiwifruit was carried out based on orthogonal experimental analysis method; and the effects of vibration acceleration, packaging buffer material, vibration time and stacking layers on surface damage index and vibration transmission rate were analyzed, so as to obtain the sensitive factors on mechanical damage of kiwifruit. The experimental results show that when the vibration acceleration was $0.15g$, the resonance frequency of kiwifruit was 85.2 Hz ; the damage degree of kiwifruit was the smallest when the paper scraps were used as cushioning material, and the vibration transmission rate was also small. It is concluded that cushioning packaging structure is the most important factor affecting the surface damage index and vibration transmission rate. The cushioning performance of paper scrap liner and EPS liner is better than that of PET liner. The bigger the vibration transmission rate is, the bigger the surface damage index is.

KEY WORDS: kiwifruit; sweep vibration; fixed frequency vibration; surface damage index; vibration transmittance

在新鲜果蔬的采摘、运输和贮藏过程中, 水果会因冲击、振动、碰撞等因素影响使硬度下降, 果肉中 Vc 含量也会大大降低, 从而对其品质造成很大的影

响^[1]。在我国, 水果运输过程的损失率高达 $25\%\sim 45\%$ ^[2-3]; 而一些发达国家的水果采后损失率仅为 5% 以下, 美国仅为 $1\%\sim 2\%$ ^[4]。另外, 由于运输包装等造

收稿日期: 2019-07-19

作者简介: 王妮睿 (1994—), 女, 上海理工大学硕士生, 主攻包装机械与技术。

通信作者: 尤飞 (1973—), 男, 博士后, 上海理工大学副教授, 主要研究方向为包装技术及设备和 CAD/CAM。

成的损失严重制约了我国水果的出口,每年造成的贸易缺口约 70 亿美元^[5]。机械损伤是水果在运输中受到损伤的主要形式,也是病原微生物的入侵之门,导致水果霉烂的最主要原因。机械损伤会使水果迅速地腐烂变质,增加损耗。若贮藏期较长时,已腐烂的水果还会危及与其相接触的水果,严重限制果品的贮运和销售。为了降低水果采摘后的损耗,减少其贮运过程中的机械损伤成为了关键,这也被越来越多的研究者所关注。

猕猴桃作为营养价值高、深受大众喜爱的水果,产量巨大。由于猕猴桃的果皮很薄、肉质较软,因而在运输途中极易受损。猕猴桃的价格较高,若在运输过程中受损严重,则会造成很大的经济损失。以猕猴桃作为研究对象,基于现有的机械振动理论进行猕猴桃的模拟运输振动试验,分析研究市内短途运输中的振动对猕猴桃所造成损伤的影响因素。通过定频振动实验检测猕猴桃的振动加速度、振动时间、堆码高度、包装方式与其机械损伤程度的关系^[6-8],通过扫频实验检测猕猴桃的共振频率^[9-10],为易损水果的包装防护提供可靠的理论依据。

1 水果运输的模拟振动实验

1.1 材料及设备

猕猴桃选用四川浦江黄心品种,果实 7 成熟,大小相近,质量约 70~90 g,硬度约 75~85 kg/cm²,无病虫和机械的损伤。第 1 类包装:衬垫为 PET 塑料托盘,托盘尺寸为 470 mm×270 mm,托盘上有符合猕猴桃大小的凹槽,可交错放置 12 个猕猴桃;外包装为 470 mm×270 mm×60 mm 的扁平状盘式 UV 型瓦楞纸箱,底部和顶部边缘有交联结构,可用于堆码。第 2 类包装:衬垫为 EPS 泡沫托盘,托盘尺寸为 470 mm×300 mm,外包装为 470 mm×300 mm×220 mm 的 0201 型 UV 瓦楞纸箱。第 3 类包装:衬垫为纸屑,将 100 g 纸屑填充于 230 mm×270 mm×60 mm 的 0201 型 UV 瓦楞纸箱中,且分隔包裹每个猕猴桃。

实验设备采用模拟运输振动系统:L.A.B HV 系列 W7000 液压振动台,包括振动台面、激振器、伺服阀、缓冲底座、407 控制器、VRC 控制器和 DC-YD-139T 传感器 1 和 2 等。

1.2 模拟振动测试

1.2.1 单件扫频振动实验

将购置的猕猴桃在室温 20 ℃中放置 48 h,进行样品的预处理。为获得箱内猕猴桃的振动特性,将其放置于振动台中心位置;同时,在其四周固定 4 块纸板,防止振动实验过程中因位置移动而损伤猕猴桃,且可保证其竖直的方位。在猕猴桃果实中部用小刀割出一个可放入传感器的洞,将传感器 1 用防水塑料膜

包裹,置于猕猴桃的洞中,并用强力胶进行固定,既避免误差又使传感器保持垂直;将传感器 2 固定于振动台面。参照 GB 4875.10^[11]设置振动频率区间为 4~100 Hz,加速度为 0.15g,扫频步长为 0.5 oct/min,在 20 ℃室温下振动 1 h。振动模拟系统自动记录振动数据,并绘制出频率-加速度图谱。振动实验结束后,将猕猴桃在室温 20 ℃中放置 48 h,并检查受损情况。

1.2.2 定频振动实验

将猕猴桃在室温 20 ℃中放置 48 h,再进行定频振动的检测。参照“运输包装件基本试验”的国家标准^[12],定频振动频率范围为 3~4.6 Hz,最大加速度范围为 5~11 m/s²;振动台面运动的垂直分量应近似正弦运动,允许振动台能自由旋转。考虑到猕猴桃在市内公路运输,多为一、二级公路的实际运输工况,确定振动频率为 4 Hz。振动加速度的 3 个水平分别是 0.5g, 0.8g, 1.0g,缓冲包装结构对应的 3 个水平为 PET 塑料衬垫、纸屑衬垫、EPS 衬垫;根据市场调查,市内水果运输时间较短,选择了上海市一般运输时间:0.5, 1.0, 1.5 h 等 3 个水平,堆码层数分别为 1 层、2 层、3 层,每层放置 12 个猕猴桃,见表 1。根据正交实验设计原则将实验划分为 9 组,每组实验进行 3 次,见表 2。将传感器 1 放入顶层最中间的猕猴桃内,传感器 2 固定于振动台面。实验结束后,将猕猴桃在室温 20 ℃中放置 48 h,检查每个猕猴桃的损伤程度,并记录检测数据。

表 1 正交实验因素水平
Tab.1 Factor level of orthogonal experiment

水平	因素			
	振动加 速度 A/g	缓冲包装 结构 B	振动 时间 C/h	堆码 层数 D
水平 1	0.5	PET 塑料 衬垫 (a)	0.5	1
水平 2	0.8	纸屑衬垫 (b)	1.0	2
水平 3	1.0	EPS 衬垫 (c)	1.5	3

表 2 正交实验设计 L₉(3⁴)
Tab.2 Design of orthogonal experiment L₉(3⁴)

实验号	因素			
	振动加速度 A/g	缓冲包装 结构 B	振动 时间 C/h	堆码 层数 D
1	0.5	PET 塑料衬垫 (a)	0.5	1
2	0.5	纸屑衬垫 (b)	1.0	2
3	0.5	EPS 衬垫 (c)	1.5	3
4	0.8	PET 塑料衬垫 (a)	1.0	3
5	0.8	纸屑衬垫 (b)	1.5	1
6	0.8	EPS 衬垫 (c)	0.5	2
7	1.0	PET 塑料衬垫 (a)	1.5	2
8	1.0	纸屑衬垫 (b)	0.5	3
9	1.0	EPS 衬垫 (c)	1.0	1

2 振动特性与受损机理分析

2.1 猕猴桃的共振频率

在强迫振动条件下,猕猴桃存在一个损伤破坏的振动频率极限值。在扫频实验中,当共振频率峰值超过极限值后,便会发生振动受损^[13-14]。在实际运输中,通常采用增加缓冲衬垫等措施来避免或降低箱内水果发生共振的可能性。传感器1采集的猕猴桃的振动特性图谱见图1。当振动台的加速度为0.15g,振动频率在3~40 Hz时,猕猴桃的振动加速度基本保持不变,为1g;当振动频率在40~85.9 Hz时,猕猴桃的振动加速度逐渐上升,且在85.9 Hz处达到最大值,为2.68g。由此可知,运载工具的振动加速度为0.15g、振动频率为85.9 Hz时,猕猴桃发生共振,受到较大的冲击力,并可能造成机械损伤,因此,在实际运输过程中应通过加固包装缓冲结构、降低行车速度等措施,以避免猕猴桃产生共振而导致机械损伤。

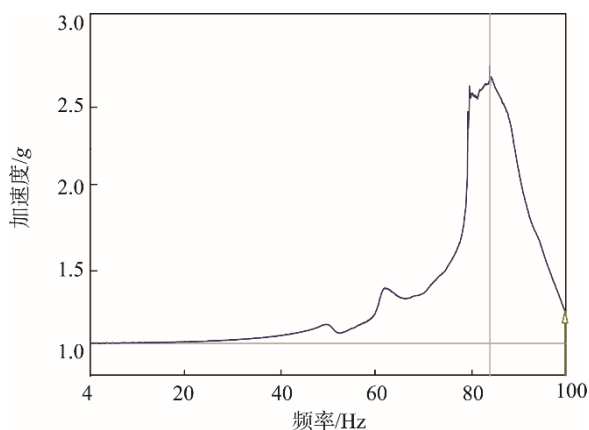


图1 猕猴桃的加速度-频率曲线
Fig.1 Acceleration frequency curve of Kiwifruit

2.2 水果表面损伤度的判定

实验结束后,有些猕猴桃的表面会出现表皮颜色加深、果肉软烂凹陷甚至腐烂的现象。实验前先采样猕猴桃的表皮颜色,再用色卡标记作为标准。实验完成后,将猕猴桃的表皮颜色与之前标记的色卡比对,

颜色变深的部位即为受损部位^[15]。由于机械振动直接受损面为猕猴桃表面,且猕猴桃体积较小,故可忽略内部未显示于表面的损伤。按照每个果实损伤面积大小将水果的受损等级分为4级^[16]:0级,无明显损伤;1级,果面有少量损伤,损伤面积小于果实表面积的10%;2级,损伤面积占果实表面积10%~30%;3级,损伤面积占果实表面积的30%以上。实验后不同受损等级的猕猴桃见图2。

对于整体包装的水果,采用表面损伤指数 U 来衡量其机械损伤的程度以及水果包装的防护性能,表面损伤指数 U 的计算公式为:

$$U = \frac{\sum (I \cdot N_I)}{I_{\max} \cdot N} \times 100\% \quad (1)$$

式中: I 为果实的损伤级别; N_I 为第 I 等级的果实数, $I=0, 1, 2, 3$; $I_{\max}$ 为猕猴桃的最高损伤级别; N 为果实总数。

易损水果的损伤级别根据其表面损伤度来判定。猕猴桃的表面损伤度 D 的计算式为:

$$D = \frac{S_{\text{损}}}{S_{\text{面}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $S_{\text{损}}$ 为猕猴桃的受损面积; $S_{\text{面}}$ 为猕猴桃的表面积。当 $D=0$ 时, $I=0$;当 $0 < D \leq 10\%$ 时, $I=1$;当 $10\% < D < 30\%$ 时, $I=2$;当 $D > 30\%$ 时, $I=3$ 。

由于猕猴桃的形状近似于椭球体,为了方便计算,利用式(3)计算猕猴桃表面积:

$$S_{\text{表}} = \frac{4}{3} \pi (ab + bc + ca) \quad (3)$$

式中: a, b, c 分别为猕猴桃3个方向的半轴长度。将猕猴桃的受损部分复刻于硫酸坐标纸上,通过计算硫酸纸上复刻区域的格子面积,可较精确地估算出猕猴桃的受损面积 $S_{\text{损}}$ 。

针对表2中第1组第1次的定频振动测试实验,12个猕猴桃中共有4个出现明显的损伤。如图3a,取其中一个破损猕猴桃,用游标卡尺测得其3个坐标方向的长度, $a=31.48 \text{ mm}$, $b=24.72 \text{ mm}$, $c=22.80 \text{ mm}$,由式(3)计算出猕猴桃的表面积 $S_{\text{面11}}=4852.55 \text{ mm}^2$ 。如图3b,将受损部位I和II部分从猕猴桃上取下,复刻于硫酸纸上,并估算受损面积约为 $S_{\text{损11}}=809.5 \text{ mm}^2$ 。

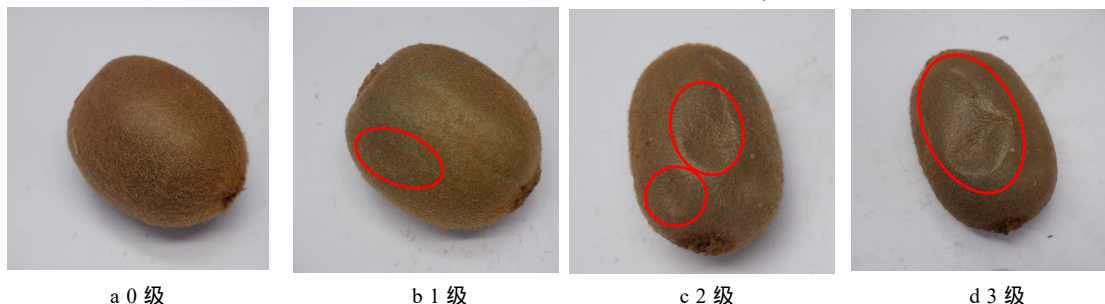


图2 不同受损等级的猕猴桃

Fig.2 Kiwifruit with different damage grades

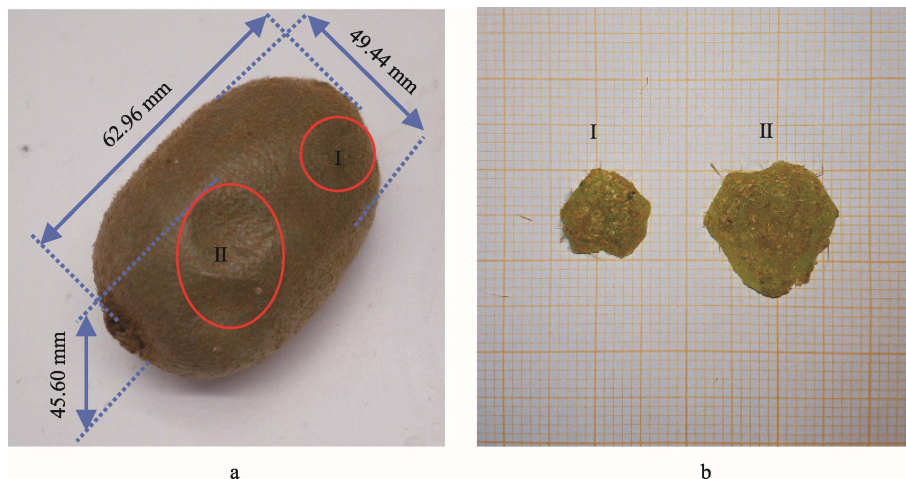


图 3 猕猴桃受损面积的测量

Fig.3 Measurement of damaged area of Kiwifruit

由式(2)计算出猕猴桃的损伤度 $D \approx 16.7\%$, 故该猕猴桃属于 2 级损伤。通过同样的计算方法, 其余 3 个猕猴桃的受损等级分别为 1, 2, 1, 由式(1)计算出 $U_{11}=25\%$ 。再计算出其余 2 次的表面损伤指数 $U_{12}=16.67\%$, $U_{13}=20.82\%$, 求平均值记为第 1 组猕猴桃的表面损伤指数, 即 $U_1=(U_{11}+U_{12}+U_{13})/3=20.83\%$ 。

2.3 振动传递率

为了研究猕猴桃的受损状况与振动性能的关系, 将顶层水果的振动加速度与振动台的加速度的比值作为果品振动传递率 T [17—18]。对于不同的易损水果包装, T 反映出缓冲包装结构对内部猕猴桃的防护作用。

$$T = \frac{a_t}{a_0} \quad (4)$$

式中: a_t 为猕猴桃的振动加速度; a_0 为振动台的加速度 (g)。

传感器 1 检测出第 1 组第 1 次实验中猕猴桃的振动达到稳态前的加速度波形见图 4a, 传感器 2 检测出振动台的加速度波形见图 4b。可以看出, 振动台

的加速度逐渐传递给包装箱内的猕猴桃, 且随着振动时间的增加其加速度趋于平稳并超过 $0.5g$, 最终达到稳态值 $0.65g$ 。由式(4)计算第 1 组第 1 次实验的振动传递率为 $T_{11}=1.30$, 再计算出其余 2 次的振动传递率为 $T_{12}=1.12$, $T_{13}=1.18$, 求平均值记为第 1 组猕猴桃的振动传递率 $T_1=1.20$ 。

2.4 猕猴桃的机械受损因素分析

根据式(1—4)计算其余 8 组正交实验后猕猴桃的表面受损指数以及振动传递率, 见表 3。

由实验数据分析可知, 第 2 组实验的果实受损程度最小, 其表面损伤指数 $U=16.67\%$, 且振动加速度最小, 衬垫采用缓冲效果较好的纸屑材料。在振动加速度相同的情况下, 第 1, 4, 7 组实验中果实的表面损伤指数 U 均为最大, 不难看出 PET 塑料衬垫的缓冲保护效果最差。因 PET 材料较硬且厚度较小, 只能在猕猴桃之间起到间壁分隔作用, 振动缓冲性能差, 而纸屑衬垫的防护效果相对较好。同时, 第 7—9 组实验中果实的表面损伤指数 U 的平均值大于其余

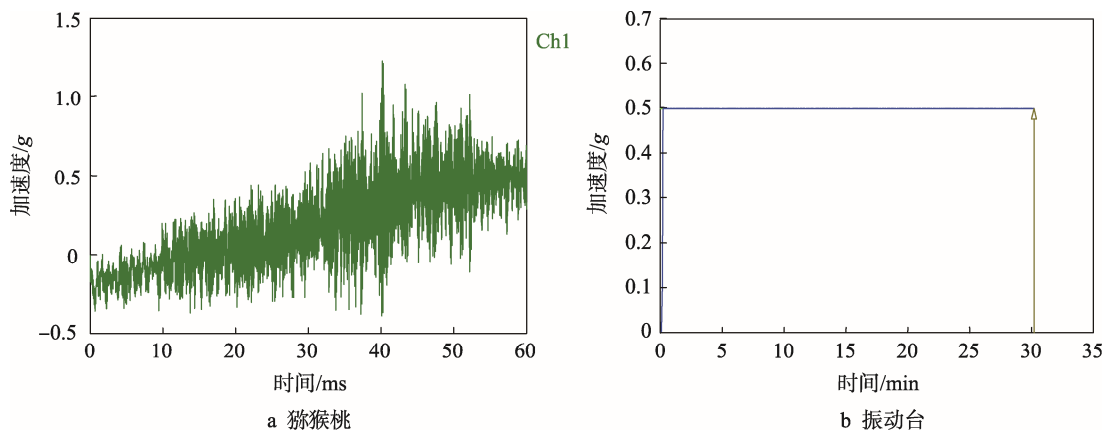


图 4 猕猴桃和振动台的加速度波形

Fig.4 Acceleration waveform of kiwifruit and shaking table

表 3 正交实验结果
Tab.3 Results of orthogonal experiment

实验号	振动加速度 A/g	缓冲包装结构 B	振动时间 C/h	堆码层数 D	实验结果	
					U/%	T
1	0.5	PET 塑料衬垫 (a)	0.5	1	20.83	1.20
2	0.5	纸屑衬垫 (b)	1	2	16.67	1.04
3	0.5	EPS 衬垫 (c)	1.5	3	18.06	1.09
4	0.8	PET 塑料衬垫 (a)	1	3	23.61	1.23
5	0.8	纸屑衬垫 (b)	1.5	1	20.83	1.03
6	0.8	EPS 衬垫 (c)	0.5	2	18.06	1.05
7	1.0	PET 塑料衬垫 (a)	1.5	2	25.00	1.21
8	1.0	纸屑衬垫 (b)	0.5	3	19.44	1.07
9	1.0	EPS 衬垫 (c)	1	1	20.83	1.10

6 组,说明振动加速度越大,果实的受损程度越高。

针对振动传递率方面的分析,可以看出第 2,5,8 组的振动传递率 T 很小,对应的 U 也较小,说明缓冲性能较好的材料对猕猴桃的保护性能强,故 U 与 T 成正比关系。而振动时间和堆码层数对振动传递率 T 的影响不明显。

为了更客观地反映因素与指标之间的关系,通过 Matlab 进行实验数据的进一步分析。根据每一因素各水平的 U 和 T 的极差,分析各个因素对表面损伤指数和振动传递率的影响程度,见表 4。图 5 横坐标为各因素的不同水平,纵坐标为某一个因素水平所对应的试验指标之和,可以看出各因素水平与指标 U 和 T 之间的变化趋势。

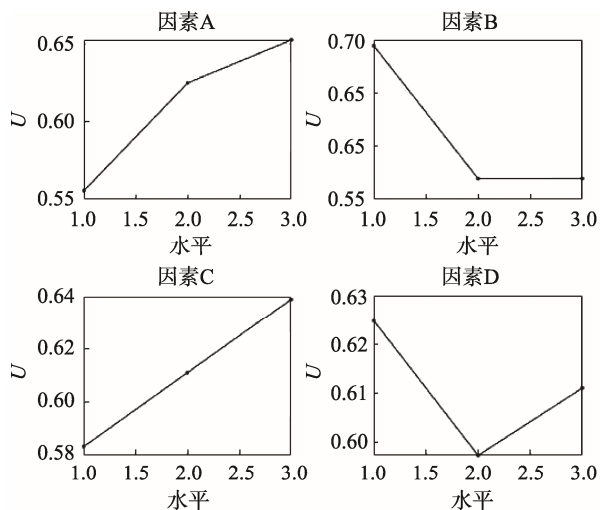
分析表 4 与图 5 可知,4 种因素对表面损伤指数的影响主次顺序为 BACD,对振动传递率的主次顺序为 BDAC。显然,缓冲包装结构是影响表面损伤指数和振动传递率最大的因子。从图 5a 分析可知振动加速度越大,猕猴桃的表面受损程度越大。纸屑衬垫和

EPS 泡沫衬垫对猕猴桃的缓冲防护效果区别不明显,因为纸屑可以填充整个纸盒,对猕猴桃起到立体防护的效果;EPS 泡沫衬垫较厚,缓冲性能也优于 PET 塑料衬垫。纸屑衬垫的包装费时费力,工艺成本较高。振动时间与表面损伤指数 U 成正比,振动时间越长,果实受损程度越大;堆码高度对表面损伤指数的影响不明显。从图 5b 分析可知,振动加速度对振动传递率的影响不显著;当缓冲包装结构为 PET 塑料衬垫时,振动传递率最高;振动传递率与时间成反比,与堆码高度成正比。

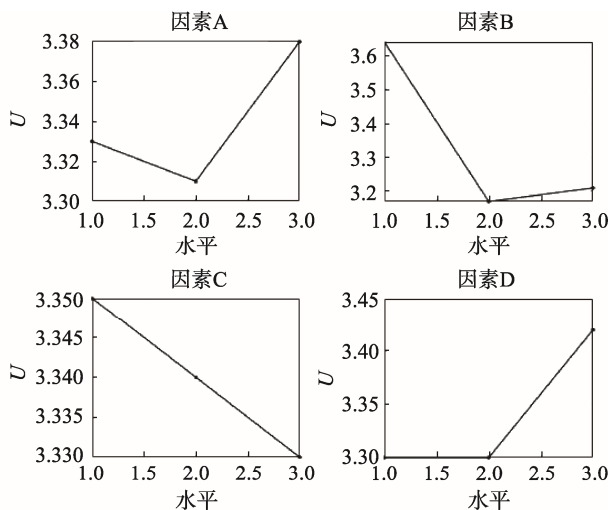
表 4 4 种因素的极差

Tab.4 Range of 4 factors

极差	因素			
	振动加速度 A	缓冲包装结构 B	振动时间 C	堆码层数 D
R_U	0.0971	0.125	0.0556	0.0276
R_T	0.07	0.47	0.02	0.12



a 因素水平与 U 之间的变化趋势



b 因素水平与 T 之间的变化趋势

图 5 因素水平与指标之间的变化趋势

Fig.5 Change trends between factor levels and indicators

3 结语

选择3种典型的猕猴桃整体包装方式,通过扫频模拟振动和定频模拟振动试验,运用正交试验法进行数据分析,研究了猕猴桃的共振频率及其机械受损与振动加速度、包装方式、振动时间、堆码高度的关系。研究结果表明:在振动台加速度为 $0.15g$ 的条件下,当振动频率达到 85.9 Hz 时猕猴桃产生共振;包装缓冲结构为表面损伤指数和振动传递率最大的影响因子,且EPS衬垫和纸屑衬垫的缓冲防护性能优于PET衬垫;振动加速度与表面受损指数成正比,堆码高度与振动传递率成正比。

参考文献:

- [1] 吴琼,周然. 运输振动对水果贮藏品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017(11): 314—320.
WU Qiong, ZHOU Ran. Advances in Research of Effects of Transportation Vibration on Storage Quality of fruits[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017(11): 314—320.
- [2] 李萍. 黄花梨模拟运输振动引起的机械损伤与品质损害[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
LI Ping. Mechanical Damage and Quality Deterioration of Huanghua Pears Caused by Simulating Transport Vibration[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [3] 魏巍,王芳,赵满全,等. 果蔬运输振动损伤与其品质评价指标的研究现状[J]. 农机化研究, 2015, 37(5): 260—263.
WEI Wei, WANG Fang, ZHAO Man-quan, et al. Research Status of Fruit and Vegetable Transport Vibration Damage and Quality Evaluation[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(5): 260—263.
- [4] 李立民. 运输过程中机械振动对果蔬贮藏品质的影响[D]. 天津: 天津商业大学, 2016: 1—2.
LI Li-min. Effects of Mechanical Vibration in Transport Process on the Storage Quality of Vegetables and Fruits [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2016: 1—2.
- [5] 曹旭东,胡洋,许腾宇,等. 定则振动系统下黄冠梨振动特性及损伤研究[J]. 包装工程, 2017, 38(17): 112—117.
CAO Xu-dong, HU Yang, XU Teng-yu, et al. Vibration Characteristic and Injury of Huangguan Pear under Stationary Vibration System[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(17): 112—117.
- [6] 黄样飞,卢立新. 梨果实共振特性及振动损伤的实验研究[J]. 包装工程, 2008, 29(7): 1—3.
HUANG Yang-fei, LU Li-xin. Research on Resonant Properties and Vibration Bruising of Pears[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7): 1—3.
- [7] SINGH S P, BURGESS G, XU M. Bruising of Apples in Four Different Packages Using Simulated Truck Vibration[J]. Packaging Technology & Science, 2010, 5(3): 145—150.
- [8] 黄斯,李项辉,陶晓亚,等. 草莓减振包装的防损伤作用[J]. 食品工业科技, 2015, 36(23): 272—275.
HUANG Si, LI Xiang-hui, TAO Xiao-ya. Study on the Effect of Anti Damage in Strawberry with the Anti-vibration Package[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(23): 272—275.
- [9] SHAHBAZI F, RAJABIPOUR A, MOHTASEBI S, et al. Simulated In-Transit Vibration Damage to Watermelons[J]. Journal of Agricultural Science & Technology, 2010, 12(1): 23—34.
- [10] 张鸣宇,张连文,骆紫晨,等. 库尔勒香梨物流堆码运输包装件振动传递试验研究[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(4): 13—17.
ZHANG Ming-yu, ZHANG Lian-wen, LUO Zi-chen, et al. Research on Vibration Transmissibility Tests of Korla Pear Transporting Stacking Packages[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(4): 13—17.
- [11] GB/T4857. 1—95, 包装运输包装件试验时各部位的标示方法[S].
GB/T4857. 1—95, Labeling Method for Each Part of the Package for Transport and Packaging[S].
- [12] GB/T 4857. 7—2005, 运输包装件基本试验第七部分: 正弦定频试验方法[S].
GB/T 4857.7—2005, Packaging: Basic Test for Transport Package—Part 7: Sinusoidal Vibration Test Method at Constant Frequency[S].
- [13] JARIMOPAS B, SINGH S P, SAENGNIW W. Measurement and Analysis of Truck Transport Vibration Levels and Damage to Packaged Tangerines during Transit[J]. Packaging Technology & Science, 2010, 18(4): 179—188.
- [14] 周德志. 果品的振动特性分析及其减损包装研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006: 1—2.
ZHOU De-zhi. Analysis of Vibration Characteristics of Fruit and Its Damage Packaging[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006: 1—2.
- [15] 胡洋. 皇冠梨振动损伤试验与缓冲包装设计[D]. 北京: 北京林业大学, 2016: 8—11.
HU Yang. Experiments of the Vibration Damage of Pear Fruit and Design of the Cushion Packaging Structure[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016: 8—11.
- [16] 郑永华,苏新国,毛杭云. 纯氧处理草莓的保鲜效果初探[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(3): 85—88.
ZHENG Yong-hua, SU Xin-guo, MAO Hang-yun. A Preliminary Study on the Effects of Pure Oxygen on Strawberry Fruit Storage[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2001, 24(3): 85—88.
- [17] 李春飞. 模拟运输条件下箱装果品动力学特性及损伤的试验研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007: 8—11.
LI Chun-fei. Experimental Research on Dynamic Property and Bruising of Fruits in Corrugated Box during Simulated Transports[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007: 8—11.
- [18] INDIKA F, JIANGANG F, ROGER S, et al. Measurement and Evaluation of the Effect of Vibration on Fruits in Transit-Review[J]. Packaging Technology and Science, 2018(31): 723—738.